

PBP(Price Based Pool) 발전경쟁시장에서의 최적입찰전략수립

論 文

51A-12-2

Optimal Bidding Strategy of Competitive Generators Under Price Based Pool

姜 東 周* · 許 眞** · 文 英 煥*** · 鄭 求 亨§ · 金 發 鎬§§

(Kang, Dong-Joo · Hur, Jin · Moon, Young · Hwan · Chung, Koo-Hyung · Kim, Balho)

Abstract : The restructuring of power industry is still going on all over the world for last several decades. Many kinds of restructuring model have been studied, proposed, and applied. Among those models, power pool is more popular than others. This paper assumes the power pool market structure having competitive generation sector, and a new method is presented to build a bidding strategy in that market. The utilities participating in the market have the perfect information of their cost and price functions, but they don't know which strategy to be chosen by others. To define one's strategy as a vector, we make utility's cost/price functions into discrete step functions. An utility knows only his own strategy, so he estimates the other's strategy using Nash equilibrium or stochastic methods. And he also has to forecast the system demand. According to this forecasting result, his payoffs can be changed. Considering these all conditions, we formulate a bidding game problem and apply noncooperative game theory to that problem for the optimal strategy or solution. Some restrictive assumptions are added for simplification of solving process. A numerical example is given in Case Study to show essential features and concrete results of this approach.

Key Words : bidding game, optimal strategy, PBP market, cost/price function, Nash equilibrium,

1. 서 론

과거 수십년 동안 전 세계에 걸쳐 많은 나라들이 전력산업 구조개편을 수행해오고 있으며, 기존의 수직 통합적 독점체제를 경쟁체제로 바꾸고 있다. 나라별로 수많은 구조개편모델이 제안되고 시도되어 왔지만 그 중에서도 가장 보편적인 모델은 풀(Pool) 형태의 전력시장구조이다. 풀 체제에서는 공급자가 자신의 한계비용을 고려하여 입찰에 응하게 되며, 그 결과에 의해 투입 발전순서가 결정된다[1]. 입찰의 방식에 따라 크게 세 가지 모델로 구분할 수 있는데, 한계비용을 그대로 입찰가격으로 적용시키는 경우 원가반영발전입찰시장(CBP : Cost Based Pool)이 되며, 발전업자의 이득을 일정량 부가하여 가격(price) 방식을 적용하는 방식을 가격입찰발전시장(PBP : Price Based Pool)이라 한다. 그리고 마지막으로 발전업자와 수용가 양측이 동시에 입찰에 의해, 공급곡선과 수요곡선이 만나는 지점에서 시장가격과 공급량을 결정하는 방식을 양방향입찰발전시장(TWBP : Two Way Bidding Pool)이라 한다. 우리나라의 경우 현재 한전전력거래소(KPX)에서 원가반영입찰시장(CBP)을 운영 중이며 궁극적으로 양방향입찰

시장(TWBP)을 지향한다. 하지만 그 전에 발전사업부문에 우선적으로 경쟁체제를 도입하는데 이 때 가격입찰발전시장(PBP)을 적용하기로 되어있다. 가격발전입찰시장(PBP)은 양방향입찰시장(TWBP)으로 이행하기 전의 과도기적인 상태로 발전사업자들의 입찰만을 고려한 시장모델이다. 최근 가격발전입찰시장(PBP)을 거치지 않고 바로 양방향입찰시장(TWBP)의 단계로 넘어가는 것으로 되어 있지만 해석의 간소화와 주체의 일원화를 위해 발전사업자의 전략수립 측면에 초점을 맞추어 본 논문에서는 PBP 모델을 채택하였다. 이 경우 민영화된 다수 발전사업자들은 한국전력거래소(KPX)의 주관하에 입찰에 응하게 되며, 개별 발전사업자들은 각자의 이득을 극대화하기 위해 상대방의 전략을 예측하고 그에 따른 자신의 전략을 수립하여 입찰에 응하게 될 것이다. 본 논문의 의의는 기존의 논문에서 비용함수나 가격함수를 1차, 2차 함수 형태의 수학적 모델을 도입하여 사용하던 것을 불연속적 대역폭(bandwidth)을 가지는 바 그래프(bar graph) 형태의 비용·가격 함수 모델을 도입하여 입찰전략수립에 대한 분석을 하였다는게 그 의의가 있다 하겠다.

2. 본 론

본 논문에서는 발전업자의 비용함수를 불연속적인 계단함수 형태로 정의한다. 이는 현재 해외 시장과 TWBP 시장에서 채택되고 있는 입찰공급곡선의 공통적인 모델로서 발전사업자의 희망 공급량과 그에 대응하는 가격을 낮은 순서대로 대역을 설정하는 방식이다. 기존 논문들에서는 주로 이러한 발전사업자의 비용함수를 $C(G) = a + bG$ 의 일차함수형태

* 正 會 員 : 韓 國 電 氣 研 究 院 研 究 員

** 正 會 員 : 韓 國 電 氣 研 究 院 研 究 員

*** 正 會 員 : 韓 國 電 氣 研 究 院 責 任 研 究 員 · 工 博

§ 準 會 員 : 弘 益 大 學 電 氣 情 報 制 御 工 學 科 碩 士 課 程

§§ 正 會 員 : 弘 益 大 學 電 子 電 氣 工 學 部 助 教 授 · 工 博

接 受 日 字 : 2002年 1月 14日

最 終 完 了 : 2002年 9月 27日

나 $C(G) = a + bG + cG^2$ 의 2차 함수 형태를 도입하여 적용하였다[2,3]. 그러나 이는 실제 시장 규칙에서 일정 발전 대역 당 일정 입찰가격을 적용하는 모델과 차이가 있는 수학적 모델이므로, 본 논문에서는 그러한 현 양방향입찰시장(TWBP) 시장규칙 상의 입찰곡선 모델을 도입하였다. 이 때 발전사업자는 임의의 G_n [MW]을 발전하는데 들어가는 비용 C_n 에 자신의 이득 성분을 더하여 입찰가격 ρ_n 으로 입찰에 응하게 된다. 그리하여 그림 1과 같이 발전비용함수 $C(G_n)$ 에 대응하는 입찰가격함수 $\rho(G_n)$ 이 유도된다. 본 논문에서 발전 비용함수와 입찰가격함수를 불연속함수로 설정한 것은 발전 사업자의 입찰전략을 $[G_n(\text{발전량}), \rho_n(\text{입찰가격})]$ 의 벡터 형태로 정의하기 위해서이다. 이 경우 발전사업자의 이득함수를 $PF_n(G_n) = \rho_{MCP}G_n - C_n(G_n)$ 로 표현할 수 있다. 여기서 ρ_{MCP} 는 시장결제가격(Market Clearing Price)으로서 입찰에 참여한 발전사업자들이 제시한 가격 중 가장 높은 값으로 결정된다[3]. 불연속적인 비용·가격 함수와 더불어 문제의 단순화를 위해 기본적으로 다음과 같은 가정을 부여한다.

- 1) 시장결제가격 (ρ_{MCP})은 계통에 투입되는 두 사업자의 불연속적인 n 번째 투입 단위를 통틀어서 ρ_n 이 가장 높은 값으로 정의한다.
- 2) 한계입찰가격이 작은 발전사업자가 계통 투입의 우선권을 가진다.
- 3) 두 사업자는 서로 상대방의 선택 가능한 전략들에 대한 정보를 가진다(완전정보게임). 하지만, 구체적으로 어떤 특정 전략을 선택할 지에 대해서는 알지 못한다. 즉, A사업자는 B사업자가 $S_B^1, S_B^2, \dots, S_B^n$ 의 선택 가능한 전략들을 가지고 있음을 알 수 있지만, 그 n 개의 전략 중 어느 전략을 선택할 지에 대해서는 확실하게 알 수 없고 확률적으로 추정할 뿐이다.
- 4) 두 사업자는 공히 자신이 예측한 계통수요에 기초하여 자신의 입찰전략을 수립하게 된다.
- 5) 게임이론에서의 내쉬균형공리에 의하면 두 사업자는 입찰 게임에 있어서 i) 자신의 이득 극대화를 위해 최선의 전략(best response strategy)을 택하고 ii) 자기예상실현의 특성(self-fulfilling property)에 의해 상대방의 전략을 추정하여 자신의 전략을 결정하게 된다[4].
- 6) 문제 해석의 단순화를 위해 계통투입단위이자 입찰용량단위인 G_1, G_2, G_3 의 단위용량증분 ΔG 는 동일한 값을 가진다고 설정(즉, $G_1^A = G_1^B, G_2^A = G_2^B, G_3^A = G_3^B$ & $G_3^A - G_2^A = G_3^B - G_2^B = G_2^A - G_1^A = G_2^B - G_1^B = \Delta G$)
- 7) 계통수요 D 는 ΔG 의 최소단위로 변동하며 두 사업자의 최소출력 합을 하한선, 최대출력 합을 상한선으로 하는 범위 내에서 존재한다고 가정한다. ($G_1^A + G_1^B \leq D \leq G_n^A + G_n^B$, 여기서 n 은 마지막 입찰전략을 가리키는 지수)
- 8) 발전기 기동시 디폴트로 투입되는 첫 번째 발전량 G_0 의 크기는 A, B 사업자 공히 ΔG 이며, 입찰가격은 0이다.
- 9) G_n [MW]의 입찰가격 ρ_n 은 G_{n+1} [MW]의 비용 C_{n+1} 보다 작은 값을 가진다($\rho_n < C_{n+1}$).

10) 공급부족($G_1^A + G_1^B < D_R$)인 경우에는 제3의 사업자가 시장결제가격 ρ_{MCP} 의 수준으로 나머지 부하를 공급하고, 공급과잉($G_1^A + G_1^B > D_R$)인 경우에는 마지막(두 사업자를 고려할 경우는 두 번째) 사업자의 공급 희망량 중 과잉부분만큼 공급을 제한

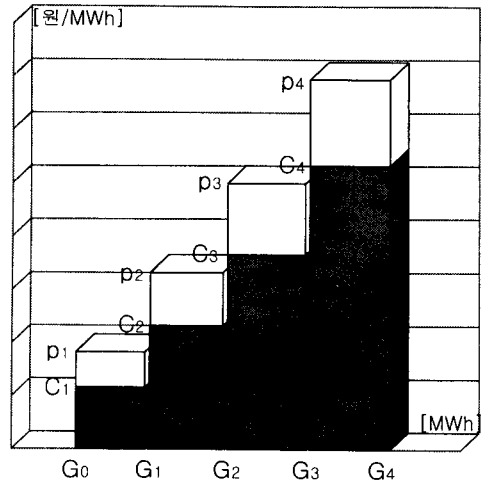


그림 1 불연속적 발전비용 및 입찰가격 함수
Fig. 1 Discrete generation cost & bidding price

G_n : 발전량[MWh]
 C_n : G_n [MWh]의 단위발전비용[원/MWh]
 ρ_n : G_n [MWh]의 단위입찰가격[원/MWh]
 $C(G_n)$: G_n 에 대한 발전비용함수
 $\rho(G_n)$: G_n 에 대한 입찰가격함수

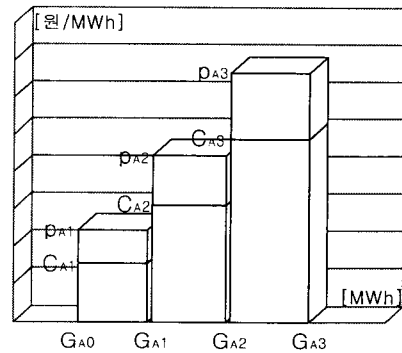


그림 2 A사업자의 발전비용·입찰가격
Fig. 2 Generation cost & bidding price of A

경쟁적 입찰 상황을 연출하기 위해 두 발전사업자의 비용 및 가격 함수를 그림 2와 그림 3에서 보는 바와 같이 설정한다[5]. A사업자의 전략을 $S_A^1 = (G_A^1, \rho_A^1)$, $S_A^2 = (G_A^2, \rho_A^2)$, $S_A^3 = (G_A^3, \rho_A^3)$ 라 하고, B사업자의 전략을 $S_B^1 = (G_B^1, \rho_B^1)$, $S_B^2 = (G_B^2, \rho_B^2)$, $S_B^3 = (G_B^3, \rho_B^3)$ 로 표현한다.

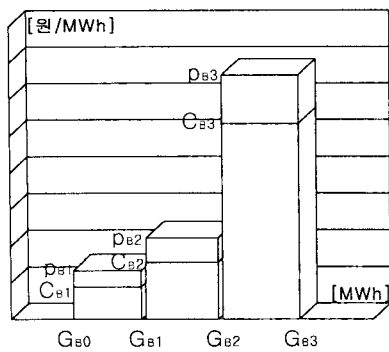


그림 3 B사업자의 발전비용·입찰가격
Fig. 3 Generation cost & bidding price of B

여기서 ρ_A^i, ρ_B^i 은 두 A, B 사업자의 한계입찰가격을 나타낸 것으로 단위 발전량 당 판매가능가격을 의미한다. 두 사업자는 각기 3개의 전략을 택할 수 있고 각 사업자는 상대방이 이 3가지 전략 중 하나의 전략을 선택한다고 가정한 상태에서 자신의 전략을 선택할 수 있다. 두 사업자의 개별 3가지 전략에 대한 대응 관계와 그에 따른 이득 관계를 다음과 같은 표로 정리할 수 있다.

표 1 대응 전략별 기대 이득
Table 1 Payoff matrix of each two strategy combination

	S_B^1	S_B^2	S_B^3
S_A^1	(PF_A^{11}, PF_B^{11})	(PF_A^{12}, PF_B^{12})	(PF_A^{13}, PF_B^{13})
S_A^2	(PF_A^{21}, PF_B^{21})	(PF_A^{22}, PF_B^{22})	(PF_A^{23}, PF_B^{23})
S_A^3	(PF_A^{31}, PF_B^{31})	(PF_A^{32}, PF_B^{32})	(PF_A^{33}, PF_B^{33})

여기서 (PF_A^i, PF_B^j) 는 A, B 사업자의 각 전략별 대응 이득벡터를 나타내며 i 는 A사업자의 전략을 j 는 B사업자의 전략을 나타낸다. 입찰의 결과 A사업자의 한계입찰가격이 B사업자보다 낮은 값을 가진다면 A사업자가 발전 투입의 우선권을 가지게 되며 PF_A^i 와 PF_B^j 는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$[PF_A^i = \rho_{MCP}G_i - C_i(G_i), \quad PF_B^j = \rho_{MCP}G_j - C_j(G_j)] \quad (1)$$

여기서 n 은 총부하를 공급하기 위해 불연속적($n=1,2, \dots, k$)으로 투입되는 마지막 단위 발전량을 가리키는 지수이다($i=1,2, \dots, l; j=1,2, \dots, m; l+m=k$)

본론 시작 부분의 가정 6)에서 언급한 대로 변동 가능한 계통 수요는 다음과 같이 도식화 될 수 있다.

계통수요가 $G_1^A + G_1^B = 4\Delta G$ 이상 $G_3^A + G_3^B = 8\Delta G$ 이하에서 ΔG 단위로 존재하므로 총 5가지 수요결과를 예측할 수 있다(즉, $D = 4\Delta G, 5\Delta G, 6\Delta G, 7\Delta G, \text{ or } 8\Delta G$). 두 사업자의 예측수요결과는 전략 선택에 결정적인 영향을 미치게 되고 선택가능한 안이 총 5개씩이므로 총 $5 \times 5 = 25$ (개)의 서로 다른 예측 조합을 가져오게 된다. 두 사업자의 수요예측벡터를 (D_f^A, D_f^B) 로 표현하기로 한다. 이것을 표로 정리하면 다음과

같다. 여기서 첨자 f 는 forecasting을 의미하고, f 뒤에 붙는 숫자는 5개의 다른 수요예측값을 구분하기 위한 것이다.

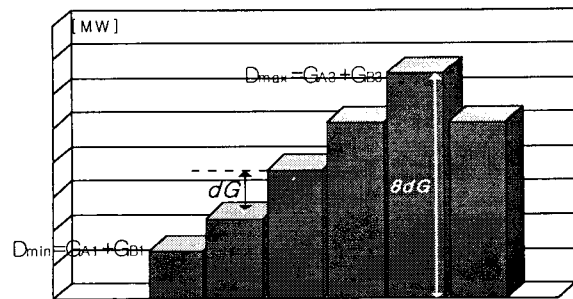


그림 4 단계별 계통 수요
Fig. 4 Variable system demand cases

표 2 두 사업자의 계통수요예측
Table 2 System demand cases forecasted by two generators

	D_{f1}^A	D_{f2}^B	D_{f3}^B	D_{f4}^A	D_{f5}^B
D_{f1}^A	4ΔG, 4ΔG	4ΔG, 5ΔG	4ΔG, 6ΔG	4ΔG, 7ΔG	4ΔG, 8ΔG
D_{f2}^B	5ΔG, 4ΔG	5ΔG, 5ΔG	5ΔG, 6ΔG	5ΔG, 7ΔG	5ΔG, 8ΔG
D_{f3}^B	6ΔG, 4ΔG	6ΔG, 5ΔG	6ΔG, 6ΔG	6ΔG, 7ΔG	6ΔG, 8ΔG
D_{f4}^A	7ΔG, 4ΔG	7ΔG, 5ΔG	7ΔG, 6ΔG	7ΔG, 7ΔG	7ΔG, 8ΔG
D_{f5}^B	8ΔG, 4ΔG	8ΔG, 5ΔG	8ΔG, 6ΔG	8ΔG, 7ΔG	8ΔG, 8ΔG

지면상 모든 게임에 대한 경우를 일일이 분석해볼 수는 없으므로 여기서는 125가지의 발생 가능한 결과들 중 한 경우를 상징하여 분석해 보기로 한다. A, B 사업자의 수요예측조합이 $(D_{f1}, D_{f2}) = (5\Delta G, 6\Delta G)$ 인 경우 두 사업자는 계통수요를 각각 $5\Delta G, 6\Delta G$ 로 가정하고 그에 맞는 자신의 전략을 수립하게 된다.

		$D_{R5} = 8\Delta G$	D_{f1}^B	D_{f2}^B	D_{f3}^B	D_{f4}^A	D_{f5}^B	
	$D_{R4} = 7\Delta G$	D_{f1}^A	D_{f2}^A	D_{f3}^A	D_{f4}^A	D_{f5}^A	D_{f5}^B	8ΔG
	$D_{R3} = 6\Delta G$	D_{f1}^A	D_{f2}^A	D_{f3}^A	D_{f4}^A	D_{f5}^A	D_{f5}^B	8ΔG
	$D_{R2} = 5\Delta G$	D_{f1}^A	D_{f2}^A	D_{f3}^A	D_{f4}^A	D_{f5}^A	D_{f5}^B	8ΔG
$D_{R1} = 4\Delta G$	D_{f1}^A	D_{f2}^A	D_{f3}^A	D_{f4}^A	D_{f5}^A	8ΔG	8ΔG	8ΔG
D_{f1}^A	4ΔG, 4ΔG	4ΔG, 5ΔG	4ΔG, 6ΔG	4ΔG, 7ΔG	4ΔG, 8ΔG	8ΔG	8ΔG	8ΔG
D_{f2}^B	5ΔG, 4ΔG	5ΔG, 5ΔG	5ΔG, 6ΔG	5ΔG, 7ΔG	5ΔG, 8ΔG	8ΔG	8ΔG	8ΔG
D_{f3}^B	6ΔG, 4ΔG	6ΔG, 5ΔG	6ΔG, 6ΔG	6ΔG, 7ΔG	6ΔG, 8ΔG	8ΔG	8ΔG	
D_{f4}^A	7ΔG, 4ΔG	7ΔG, 5ΔG	7ΔG, 6ΔG	7ΔG, 7ΔG	7ΔG, 8ΔG	8ΔG		
D_{f5}^B	8ΔG, 4ΔG	8ΔG, 5ΔG	8ΔG, 6ΔG	8ΔG, 7ΔG	8ΔG, 8ΔG			

그림 5 수요예측결과에 따라 발생 가능한 게임의 경우
Fig. 5 Possible game cases from variable demand forecast results and realized demand

이러한 25가지 예측 경우의 수에 실제 게임이 발생하였을 경우 확정되는 실제계의 수요 5가지 (즉, $D = 4\Delta G, 5\Delta G, 6\Delta G, 7\Delta G, \text{ or } 8\Delta G$)를 곱하면 총 125가지의 게임 결과가 도출된다. 그림 5에서 새로 등장하는 인덱스 D_R 의 R은 real을 의미하는 이니셜로서 실제 게임에서의 실측수요를 가리키는 것이다.

i) A 사업자의 경우 ($D=5\Delta G$ 일 때)

표 3 A 사업자의 보수 행렬(payoff matrix)

Table 3 Payoff matrix of Gen. A

	S_B^1	S_B^2	S_B^3
S_A^1	(PF_A^{11}, PF_B^{11})	(PF_A^{12}, PF_B^{12})	(PF_A^{13}, PF_B^{13})
S_A^2	(PF_A^{21}, PF_B^{21})	(PF_A^{22}, PF_B^{22})	(PF_A^{23}, PF_B^{23})
S_A^3	(PF_A^{31}, PF_B^{31})	(PF_A^{32}, PF_B^{32})	(PF_A^{33}, PF_B^{33})

ii) B 사업자의 경우 ($D=6\Delta G$ 일 때)

표 4 B 사업자의 보수 행렬(payoff matrix)

Table 4 Payoff matrix of Gen. B

	S_B^1	S_B^2	S_B^3
S_A^1	(PF_A^{11}, PF_B^{11})	(PF_A^{12}, PF_B^{12})	(PF_A^{13}, PF_B^{13})
S_A^2	(PF_A^{21}, PF_B^{21})	(PF_A^{22}, PF_B^{22})	(PF_A^{23}, PF_B^{23})
S_A^3	(PF_A^{31}, PF_B^{31})	(PF_A^{32}, PF_B^{32})	(PF_A^{33}, PF_B^{33})

B사업자의 보수 행렬(Payoff Matrix)(표 4)에서 균형점이 (PF_A^{21}, PF_B^{21}) 로 도출되었다면 B사업자의 입찰 전략은 S_B^2 로 결정된다.

위 게임의 실제과정에서 계통수요가 $D=5\Delta G$ 로 실측되었다면 수요를 정확히 예측하고 전략을 수립한 A사업자에게 유리한 결과가 도출될 가능성이 크며, 이는 사례연구에서 구체적인 수치의 계산을 통해 보여질 것이다.

두 사업자가 균형점을 도출하는 방법은 기본적으로 내쉬 균형을 따른다고 가정하며 내쉬균형점이 존재하지 않을 경우 각 전략별 기대값의 비교로 최적 전략을 도출한다고 가정한다. 표 4에서 세 1행 1열의 (PF_A^{11}, PF_B^{11}) 은 A사업자가 S_A^1 , B사업자가 S_B^1 의 전략을 선택했을 경우의 두 사업자가 획득하게 되는 이득(profit) 벡터이다. A사업자가 3가지 선택 가능한 전략들 중의 어느 하나를 선택할 경우 (B 사업자의 전략 선택에 관계없이) 얻게 되는 이득은 B사업자의 개별 전략에 대한 이득(profit) 기대치의 합으로 표현할 수 있다[5]. 그러므로 A사업자가 S_A^1, S_A^2, S_A^3 의 전략을 선택하였을 경우의 이득 기대치는 다음의 (2), (3)식과 같이 표현될 수 있다. 여기서, $P(S_A^1 \cdot S_B^2)$ 는 S_A^1 과 S_B^2 가 동시에 선택될 확률을 의미한다.

$$PF_A^1 = PF_A^{11}P(S_A^1 \cdot S_B^1) + PF_A^{12}P(S_A^1 \cdot S_B^2) + PF_A^{13}P(S_A^1 \cdot S_B^3)$$

$$PF_A^2 = PF_A^{21}P(S_A^2 \cdot S_B^1) + PF_A^{22}P(S_A^2 \cdot S_B^2) + PF_A^{23}P(S_A^2 \cdot S_B^3) \quad (2)$$

$$PF_A^3 = PF_A^{31}P(S_A^3 \cdot S_B^1) + PF_A^{32}P(S_A^3 \cdot S_B^2) + PF_A^{33}P(S_A^3 \cdot S_B^3)$$

B 사업자의 경우도 마찬가지로

$$PF_B^1 = PF_B^{11}P(S_A^1 \cdot S_B^1) + PF_B^{12}P(S_A^2 \cdot S_B^1) + PF_B^{13}P(S_A^3 \cdot S_B^1)$$

$$PF_B^2 = PF_B^{21}P(S_A^1 \cdot S_B^2) + PF_B^{22}P(S_A^2 \cdot S_B^2) + PF_B^{23}P(S_A^3 \cdot S_B^2) \quad (3)$$

$$PF_B^3 = PF_B^{31}P(S_A^1 \cdot S_B^3) + PF_B^{32}P(S_A^2 \cdot S_B^3) + PF_B^{33}P(S_A^3 \cdot S_B^3)$$

의 식들로 표현 가능하다[6]. 기대값이 전략을 택하는 과정에서 유일한 고려대상이 되는 것은 아니지만 최소한 기대값은 두 사업자가 선택 가능한 전략들 중 하나를 선택하게 되는 중요한 근거가 될 것이다. 1회 게임을 가정할 경우 가장 단순한

방법으로 전략별 선택 확률을 동일한 확률 1/3로 둘 수도 있을 것이고, 계통 수요나 반복 게임을 고려한 경험치를 반영하여 전략선택에 대해 서로 다른 가중치 혹은 영향지수(impact factor)를 부여할 수도 있을 것이다. 단, 본 논문에서는 해석과정을 간소화하고 주제의 일원화를 위해, 내쉬 균형이 존재하지 않아서 기댓값으로 균형점을 도출해야 하는 경우 전략별 선택 확률을 세 전략 공히 동일한 1/3로 반영하기로 한다.

3. 사례 연구

임의의 두 발전사업자 A, B의 비용·가격 함수는 다음과 같고, 두 사업자의 수요 예측값은 $(D_A^f, D_B^f) = (600, 400)$, 실측 수요 $D_R = 400$ [MW]라고 설정한다.

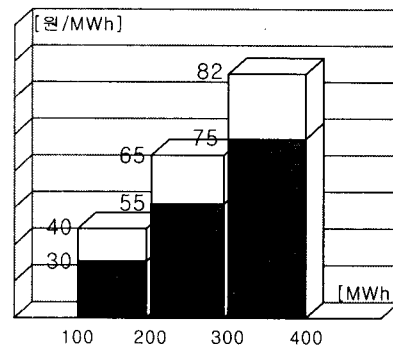


그림 6 A 사업자의 발전비용·입찰가격 함수

Fig. 6 Generation cost & bidding price of A

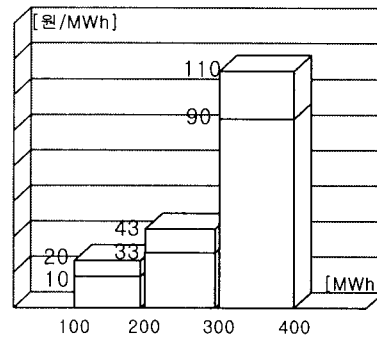


그림 7 B 사업자의 발전비용·입찰가격 함수

Fig. 7 Generation cost & bidding price of A

이 경우 두 사업자의 전략을 차례대로 분석해 보기로 한다.

i) A발전사업자의 입찰전략($D_A^f = 600$ 일 때)

표 5 대응 전략별 기대 이득

Table 5 Payoff matrix of each two strategy combination

	$S_B^1=200$	$S_B^2=300$	$S_B^3=400$
$S_A^1=200$	(5000,7000)	(5600,8600)	(19000,30700)
$S_A^2=300$	(11000,12000)	(11000,15200)	(24500,38700)
$S_A^3=400$	(17800,15400)	(16100,20300)	(38000,21000)

열등전략과 우월전략이 존재하므로 열등전략삭제에 의한 내쉬균형점을 도출할 수 있다.

	$S_B^1=200$	$S_B^2=300$	$S_B^3=400$
$S_A^1=200$	(5000,7000)	(5600,7600)	(19000,21000)
$S_A^2=300$	(11000,12000)	(11000,15200)	(24500,38700)
$S_A^3=400$	(17800,15400)	(16100,20300)	(38000,21000)

그림 8 A 발전사업자의 균형전략 도출
Fig. 8 Equilibrium point of Generator A

A사업자는 계통 수요가 600이라는 가정 하에 자신의 이익을 최대화할 수 있는 입찰전략 S_A^3 을 선택하였다.

ii) B발전사업자의 입찰전략($D_B^B=400$ 일 때)

표 6 대응 전략별 기대 이익

Table 6 Payoff matrix of each two strategy combination

	$S_B^1=200$	$S_B^2=300$	$S_B^3=400$
$S_A^1=200$	(5000,7000)	(5600,7600)	(19000,21000)
$S_A^2=300$	(10000,12000)	(6500,15200)	(24500,11000)
$S_A^3=400$	(13400,15400)	(8200,20300)	(28000,0)

B사업자의 경우도 마찬가지로 보수 행렬(Payoff Matrix)상에서 열등전략과 우월전략이 존재하므로 열등전략삭제에 의한 내쉬균형점을 구할 수 있다.

	$S_B=200$	$S_B=300$	$S_B=400$
$S_A=200$	(5000,7000)	(5600,7600)	(19000,21000)
$S_A=300$	(10000,12000)	(6500,15200)	(24500,11000)
$S_A=400$	(13400,15400)	(8200,20300)	(28000,0)

그림 9 B 발전사업자의 균형전략 도출
Fig. 9 Equilibrium point of Generator B

B사업자는 계통수요가 400이라는 가정 하에 자신의 이익을 최대화할 수 있는 입찰 전략 S_B^2 를 선택하였다.

iii) 실제 게임의 결과 ($D_R=400$)

	$S_B^2=300$
$S_A^3=400$	(8200,20300)

그림 10 대응 전략별 기대 이익
Fig. 10 Equilibrium when demand is 400

본 게임에서 실제계통수요가 400으로 확정되었다면 계통수요를 정확히 예측한 B사업자가 A사업자에 비해 높은 이익을 획득할 가능성이 크다는 것을 직관적으로 알 수 있고, 실제 계산 결과도 그림 10에서 보는 것처럼 계통수요를 정확히 예측하고 전략을 수립한 B사업자가 훨씬 높은 이익을 획득하였다.

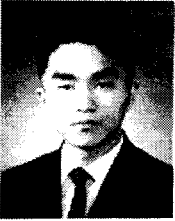
4. 결 론

이제까지 본 논문에서는 경쟁적 발전 시장에서 두 명의 발전사업자를 가정하고 그 두 사업자가 발전입찰경쟁에서 서로 경쟁하게 되는 상황을 설정하여 비협조 게임을 적용·해석하였다. 발전사업자의 선택 가능한 전략을 규정하기 위해 발전비용·입찰가격함수를 계단함수형태로 정의하였으며, 해석의 편의를 위해 전략의 두 가지 선택사항인 발전량 G_n 과 입찰가격 ρ_n 을 1:1 함수 형태로 대응시켜 전략의 개수를 최소화하였다. 본 논문은 다양한 계통수요결과에 대한 예측과 예측수요별 이익 최대화를 위한 전략을 정의, 그 전략의 결과를 도출해 봄으로써 게임이론을 적용하여 입찰 게임을 분석하는 일련의 해석 방법을 제안하고 정형화(formulation)하는데 초점이 있다. 문제 해석의 간소화와 주제의 일원화를 유지하기 위해 게임참여자를 2인으로 제한하고 수요예측방법론에 대한 구체적인 내용을 담지 못한 것, 입찰가격을 발전량에 대한 결정함수(deterministic function)로 단순화 한 점 등은 아쉬움으로 남는다. 이는 향후 별도연구나 심화연구를 통해, 게임 정식화를 위해 전제되었던 엄격한 가정들을 완화하고 보다 일반화된 해석법으로 계속 발전시켜 나갈 것이며, 궁극적으로는 우리나라 혹은 다른 나라에서 운영되고 실제 전력시장들의 시장규칙을 반영하여 거래를 분석하고 입찰 전략을 수립할 수 있는 소프트웨어 솔루션(e.g. GE의 MAPS, OM의 POMAX, 등)으로서의 이론적 골격(frame)을 형성해가고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] 박종근, 김발호, 박종배, 정도영, "전력산업구조개편개론", 기초전력공학공동연구소, pp. 3-35, 2000
- [2] 강동주, 박만근, 김발호, 박종배, "불완전정보 전력거래 해석을 위한 게임이론의 적용", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, "pp.19~21", July 2000
- [3] Fusahuan Wen and A. Kumar David, "Optimal Bidding Strategy and Modeling of Imperfect Information Among Competitive Generators", IEEE Transactions on Power Systems, Vol 16, No. 1, pp. 15-21, February 2001
- [4] 박주현, "게임이론의 이해", 도서출판 해남, pp. 50-58, 1998
- [5] Allen J. Wood, Bruce F. Wollenberg "Power Generation, Operation, and Control", Wiley, pp. 49-50, 1996
- [6] Sheldon Ross, "Stochastic Processes", Wiley, pp. 33-35, 1996

저 자 소 개



강 동 주 (姜 東 周)
1975년 9월 9일생. 1999년 홍익대 공대 전자전기제어공학과 졸업. 2001년 동 대학원 전기정보제어공학과 졸업(석사). 현재 한국전기연구원 전력시장기술연구그룹 연구원. 관심분야 : 게임이론을 적용한 전력시장거래해석 및 발전사업자의 입찰전략수립기법, 전력시장시뮬레이터,

OR, SCM, ERP
Tel : 055-280-1319, Fax : 055-280-1390
E-mail : djkang@keri.re.kr



정 구 형 (鄭 求 亨)
1974년 9월 20일생. 2001년 홍익대학교 전기전자제어공학과 졸업. 2001년 동 대학원 석사과정. P&P, 젤파워 근무. 관심 분야 : 게임이론을 전력시장해석 및 발전사 업자의 입찰전략분석, 송전비용산정, OPF, 직접 부하제어(DLC), 전력시장 시뮬레이터(발전

기 스케줄러), 웹기반 전력회사 솔루션 개발
Tel : 02-338-1621
E-mail : gal110412@wow1.hongik.ac.kr



허 진 (許 眞)
1973년 4월 27일생. 1997년 고려대학교 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 졸업(석사). 1999년 한국전기연구원 입사. 현재 전기시험연구소 전력시장기술연구그룹 연구원. 관심분야 : 전력시장 모델링 및 시뮬레이션, EMTDC, RTDS

Tel : 031-420-6133, Fax : 031-420-6139
E-mail : jinhur@keri.re.kr



김 발 호 (金 發 鎬)
1962년 7월 11일 생. 1984년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1992년 미국 University of Texas at Austin 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 미국 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1997년~현재 홍익대 전자전기공학부 조교수

Tel : 02-320-1462, Fax : 02 320-1110
E-mail : bhkim@wow.hongik.ac.kr



문 영 환 (文 英 煥)
1956년 5월 13일생. 1979년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 Univ. of Texas (Arlington) 전기공학과 졸업(공학). 현재 한국전기연구원 전력연구단 시스템제어연구그룹장, 책임연구원. 관심분야 : 시장설계 및 운영, 발전기/

제어계 모델링, HDVC 운용제어, 전력시스템 해석 및 제어
Tel : 055-280-1311, Fax : 055-280-1390
E-mail : yhmoon@keri.re.kr